

# サイレージの品質と乾物摂取量との関係

東京農業大学 生物産業学部

オホーツクキャンパス 教授 増子孝義

## 1 サイレージ調製形態の方向性

網走管内の酪農家では、JA単位でコントラクター制度を利用したサイレージ調製が盛んに行われるようになってきた。この背景には、大きな草地面積を短時間で効率よく調製作業し、なおかつ良質の製品をつくらうとする意図があるものと思われる。従来の調製方法では、酪農家各自が機械を所有し、少人数で日数をかけて仕上げていたが、コントラクター制度の活用により、仲間との共同作業で、牧草でもトウモロコシでも大型機械によりバンカーサイロやスタックサイロに詰め込むことが可能になっている。労働作業時間の短縮が望まれている現状を考えると、作業時間の面からも有効な手段といえるだろう。

その反面、このように作業が大型機械化されると、調製方法が画一化してしまい、流れ作業の一過程でサイレージをつくらざるを得なくなる。さらに、作業を数戸共同で行う場合、天候が長期間安定するとは限らず、中には雨にあたってしまう場合があるだろう。このように、天候条件のみばかりでなく、作業効率から高水分サイレージをつくらざるを得ない場合がある。サイレージの高水分化は、たとえ発酵品質が良質に仕上がっても、環境面では多量の排汁流失による汚染の問題、給与面では乳牛の乾物摂取量が低下するなど、解決すべき問題点が多い。

材料の予乾による水分調節と発酵品質の改善との関係は、古くから議論されており、予乾の効果はだれもが認めるところだろう。これまでのサイレージ研究では、高水分サイレージでも予乾サイレージでも発酵品質が良質になればよいと考えら

れてきた。しかし、高水分の良質発酵サイレージと予乾した良質発酵サイレージとで、どちらの栄養価や乾物摂取量が高いか、乳生産に及ぼす影響はどうかという質問に、すぐに回答できないほど実験データが少なく、明確にされていない。

一方、個別でサイレージをつくる酪農家は、ラップ方式を採用している。ラップ方式は、家族経営でマイペースでサイレージをつくるのに優れた調製方法である。しかし、この手法は作りやすさが先行してしまい、栄養評価や乾物摂取量に対してあまり議論されていない。TMRとの相性、給与効率、細切型サイレージとの比較など、解決すべき課題が多い。ラップサイレージの水分範囲は30~60%と広く、水分の違いによる発酵品質や乾物摂取量の影響はあまり知られていない。ラップサイレージの調製量が多い現状を考えると、栄養価や乾物摂取量、さらには乳生産に及ぼす影響にまで、研究がもっと行われるべきであろう。

## 2 サイレージの乾物摂取量

牧草やトウモロコシなどの自給粗飼料を有効に活用するには、サイレージ調製が必要であり、乳牛の高泌乳化に伴いその重要性はますます高まってきている。乾物摂取量の高い高栄養価のサイレージは、濃厚飼料の節約効果が高い上、高泌乳牛の健康維持にも効果大きい。今、つくられているサイレージは、その役割を十分に果たしているのだろうか。ここでは、乾物摂取量について乳牛側とサイレージ側から探してみたい。

### 1) 乳牛の乾物摂取量に關与する要因

乳牛の乾物摂取量に關与する要因は複雑で、それらを整理するには要因を飼料に関わるものと乳

表1 家畜の自由摂取量に関する諸要因

家畜に関わる要因	飼料に関わる要因	環境・畜舎・管理に関わる要因
1) 品種	1) 草種, 品種	1) 給餌時間
2) 性別	2) 飼料構成	2) 給与回数
3) 生体重	3) 成分組成	3) 混合あるいは単別飼料
4) 成育段階	4) 消化性	4) 飼料添加物
5) 月齢	5) 消化ダイナミックス	5) ミネラルetc
6) 産次	6) 消化管内通過速度	6) ルーズバーンorフリーストール
7) 遺伝子型	7) 物理的形状	7) 密度
8) 泌乳期	8) 貯蔵状態	8) 飼槽の大きさ
9) 産乳量	9) 乾物率	9) 日照時間
10) 妊娠	10) 発酵品質	10) 外気温
11) 飼養前歴	11) 嗜好性	11) 湿度
12) ボディコンディション		
13) 疾病		

(サイレージ科学の進歩, 1999年)

牛に関わるものに分ける必要がある(表1)。飼料に関わる要因としては、草種・品種、飼料配合、ルーメン内消化性、切断長、がさ、乾物率、サイレージの発酵品質、嗜好性など。乳牛に関わる要因としては、月齢、体重、生産量、飼養前歴などが挙げられる。その他、給餌回数、密飼いの程度、牛群構成、給与方式、外気温、換気など牛舎、飼養管理あるいは環境要因の影響もある。乳牛は乳生産量や維持に必要な養分要求に見合うように飼料摂取量を増加させるものであるが、ルーメン内の物理的充満や消化分解による栄養分により、採食意欲が低下する。物理的充満度の機構については、ルーメンの最大容積量とその内容物量の関数として表わされる「Fill Theory」の概念が知られている。ルーメンと乾物摂取量との関係は次の通りである。粗飼料の乾物摂取量は、ルーメン内容物の消失速度によって制限される。粗飼料の乾物摂取量とNDF含量との間に負の相関関係が認められ、NDF含量が60%以下の範囲では、NDF含量の増加に対応してルーメン内分解速度は減少する。ルーメンを細かく粉砕した飼料片で充たしても乾物摂取量を抑制しないが、ある程度の長さをもった繊維物質で充たすと、乾物摂取量を低下させる。酢酸、プロピオン酸、酪酸、総有機酸のルーメン内注入量と乾物摂取量との間には、負の相関関係が認められている。

## 2) サイレージの乾物摂取量に關与する要因

サイレージの乾物摂取量について、低下の要因は発酵生成物にあると考えられている。生成物に

は乳酸、酢酸、プロピオン酸、酪酸、バレリアン酸、カブロン酸などの有機酸、アミンやアンモニアなどの窒素化合物がある。これらの生成物は、サイレージ調製時の水分含量や発酵品質の良否に大きく影響される。水分含量の高いサイレージでは有機酸生成量が高く、水分含量の低下に伴い減少していく。筆者らの実験では、同一材料でいずれも良質に調製したサイレージの乾物中の有機酸量は、水分含量が87%、77%、63%でそれぞれ19.5%、11.9%、5.2%となっている。先ほど述べた有機酸のルーメン内注入量と乾物摂取量との間に負の相関関係

があることを考えると、サイレージの有機酸量は乳牛の乾物摂取量に影響を及ぼす一因であろう。

一方、良質サイレージは、低水分でない限り乳酸が多量に生成されてpHが低下するが、このような条件がサイレージの乾物摂取量を抑制しているという見解がある。しかし、極端に酸性側に傾いたpHが関与するという報告はみられず、乳酸自身の関与が指摘されているが、乳酸を添加した実験結果からは影響が認められないため、サイレージの乾物摂取量に及ぼす乳酸の影響は明らかでない。

酪酸発酵が促進された劣質サイレージは、酢酸と酪酸が多量に生成されるとともにアンモニアやアミンの生成量も多い。酪酸は酪酸発酵により生産され、酢酸は主にヘテロ型発酵乳酸菌と腸内細菌によって糖から生産される。アンモニアは、主にたんぱく質分解性酪酸菌と腸内細菌によってたんぱく質が分解されて生成される。アミンはアミノ酸の脱炭酸反応において生成されるものであり、植物酵素やサイレージに生息する微生物によってつくられる。その主なものは、 $\alpha$ -アミノ酪酸、 $\beta$ -アミノ酪酸、 $\beta$ -アミノバレリアン酸、カダベリン、ヒスタミン、プトレッシン、チラミンなどである。アミン類はpHの高い劣質サイレージよりもpHの低い良質サイレージに多く検出されること、あるいは酪酸型サイレージに検出されることなどが知られているが、サイレージにおけるアミンの生成や分解についての情報が少なく、明らかになっていない部分が多い。

このような劣質サイレージの乾物摂取量は、良

質サイレージに比べて低下することが周知の事実であるが、乾物摂取量の低下には酢酸、酪酸、アンモニア、アミンなどの成分が関与しているといわれている。良質サイレージ（pH4.2）と劣質サイレージ（pH4.8）の乾物摂取量（体重比）を比較した実験では、それぞれ1.9%と1.4%であり、劣質サイレージの乾物摂取量が26%も低下している。良質サイレージの乾物摂取量が15kgとすると、劣質サイレージでは11kgしか摂取されないことになる。良質サイレージを子ヒツジに給与した実験では、体重当たり3.0%以上の乾物摂取量があったが、劣質サイレージ給与では2.3%の摂取量にとどまり、増体量と飼料効率も劣質サイレージ給与では低い結果が得られている。

高水分（無予乾）サイレージの乾物摂取量が最も低いことから、水分含量がその制限要因の一つとして挙げられることが多い。水分含量の影響を調べる実験で、乾燥したトウモロコシに加水したものを雄牛に給与したところ、有意な差がみられていない。したがって、水分それ自体ではほとんど影響していないようである。NRC飼養標準（1989年度版）のデータでは、サイレージの水分含量が50%以上で、1%増加する毎に体重に対する乾物摂取量が0.02%低下する。仮に水分含量70%と80%のサイレージを体重600kg（乾物摂取量が3.0%とする）の乳牛に給与すると、乾物摂取量は水分含量が70%の場合15kg、80%では13.8%となり1.2kgの差が出てくることになる。水分含量が乾物摂取量に及ぼす影響は、サイレージを乾草や濃厚飼料と混合したTMRでも認められ、水分含量が50%以上になると有意に低下すると報告されている。

一方、サイレージの化学成分が乾物摂取量に及ぼす影響についても検討されており、たんぱく態窒素と可溶性炭水化物含量が正の相間関係があると報告されている。これらの成分は、高水分（無予乾）サイレージでは少なく、予乾サイレージで多いことから、水分含量が高いと乾物摂取量が低下する要因の一つになっていると考えられる。乾物摂取量は水分含量が60~70%で最大になるという報告もある。

サイレージの切断長が乾物摂取量に及ぼす影響

も認められている。切断長を短くすることによって、乾物摂取量が増加している。この原因として、切断長が短いとサイレージの発酵品質が改善されること、ルーメン内の通過速度が速くなることが考えられている。

### 3 劣質サイレージ給与の影響

サイレージの発酵過程で酪酸菌が増殖し、酪酸発酵が進行すると劣質サイレージになる。このサイレージには多量のアンモニアが含まれている。筆者らが実験で調製した劣質サイレージには酪酸が乾物中に6.0%（新鮮物中1.2%）、アンモニア（全窒素に対する比率）は50%含まれていた。通常、アンモニア（全窒素に対する比率）は15%以上含まれると劣質と判定される。このような劣質サイレージを乳牛に給与する問題点として、サイレージに含まれる酪酸やアンモニアの摂取による乳牛への生理的な影響、嗜好性や栄養価の低下による乳牛の乾物摂取量と養分摂取量の不足、これらが要因となる乳生産や乳成分への影響などが挙げられる。ここでは、これらの問題点を探ってみよう。

サイレージを給与した乳牛のルーメン発酵は、乾草給与時に比べてpHが低く、VFAとアンモニア濃度が高く、VFAモル比では酢酸が少なく、プロピオン酸と酪酸が多い特徴をもっている。これらの結果は、良質サイレージを給与したものであるが、劣質サイレージを給与した乳牛のルーメン液性状を調べた実験によると、pHが高く、VFA濃度には差がなく、アンモニア濃度は高く、VFAモル比では酢酸と酪酸が高く、プロピオン酸が低い結果が得られている。また、劣質サイレージの給与は、ルーメン微生物の種類や数にも影響を及ぼし、給与によりそれらが減少する傾向がある。

多量の酪酸を含む劣質サイレージを乳牛に給与すると、酪酸がルーメン壁で代謝されてケトン体になり、血中ケトン体濃度が上昇する。ケトン体はエネルギー源や乳脂肪の脂肪酸合成に利用されるが、血中ケトン体濃度が上昇するとケトシスを誘発しやすくなる。ケトシスは、一般的に泌乳初期のエネルギーが負になることが原因となる。飼料から供給されるエネルギーが不足するの

を補うため、肝臓に蓄えられたグリコーゲンが消費されるが、短時間で消費されるために、体脂肪が代替エネルギーとして動員される。その際に中間代謝物としてのケトン体（アセト酢酸、アセトン、D-3-ヒドロキシ酪酸）が多量につくられ、血中に増加すると食欲が低下する。これ以外にケトosisは、すでに述べたように劣質サイレージに含まれる酪酸がルーメン壁で代謝されて、ケトン体（D-3-ヒドロキシ酪酸）が形成されることが原因になる場合がある。泌乳初期にこのような劣質サイレージを給与するとケトン体の形成が増幅される可能性がある。

劣質サイレージに含まれる多量のアンモニアやその他の溶解性窒素は、ルーメン内で急速に分解されて過剰のアンモニアを生成する。過剰のアンモニアは、その一部が微生物体たんぱく質の合成に利用されるが、合成に必要なエネルギー不足（嗜好性の低下による摂取量の減少、可消化養分の損耗の増大、可溶性炭水化物の減少）のため合成効率が低下し、窒素の利用性が低下する。利用されなかった大部分のアンモニアは、肝臓で尿素に合成されるため、長期間給与し続けると肝臓に負担がかかり、肝機能の低下を招く危険性がある。

#### 4 サイレージの品質と乳成分

サイレージの品質が乳生産と乳成分に及ぼす影響についての情報は少なく、今後の研究が望まれる。最近、興味ある研究結果が報告された。酪酸が新鮮物中0.6%、アンモニアの比率が32.8%の劣質サイレージを多量給与した場合の乳生産量、乳成分および風味（おいしさ）を調べたものである。劣質サイレージを多量給与すると、乳生産量には違いが認められないが、乳成分には影響が現れている。劣質サイレージを多量給与した乳成分は、乳たんぱく質が減少し、遊離脂肪酸が増加する結果が得られている。

一方、すでに述べたように多量の酪酸を含む劣質サイレージを給与すると、ルーメン液のプロピオン酸モル比が低下する。サイレージを給与したルーメン内で生成するプロピオン酸は、乳酸からの転換が多い。しかし、劣質サイレージには乳酸が少ないため、プロピオン酸が低下したものと考

えられる。ルーメン液のプロピオン酸は肝臓でピルビン酸、乳酸、アミノ酸とともにグルコースの合成（糖新生）の基質として使われる。すなわち、エネルギー源や乳糖の合成に利用されている。劣質サイレージの給与によってルーメン液のプロピオン酸のモル比が低下すると、エネルギー源が減少するため肝臓で糖新生にアミノ酸が消費される。そのため、乳たんぱく質合成が低下するものと考えられる。

生乳の官能試験により、おいしい牛乳の条件は、クセがないこと、後味がよいこと、コクがあること、と解析されている。劣質サイレージを給与して生産された生乳は、うまさ、後味、香りのいずれの項目も評価が低く、成分分析からは、遊離脂肪酸の増加、遊離アミノ酸の増加、エステル類と低級脂肪酸の生成が認められており、「おいしさ」や乳成分に影響が現われている。

#### 5 サイレージ研究の今後の課題

筆者らはこれまでに「実証的研究に基づく良品質サイレージ調製技術の啓蒙ならびに普及活動」をスローガンに研究活動を展開してきた。これまでの研究において、良品質サイレージ調製のための指標として発酵品質を使用してきたが、サイレージの品質や栄養価は、究極的には乳牛に給与し、乳量や乳成分に及ぼす効果から判断しなければならない。しかし、乳牛給与と試験が実施できる環境条件を有する研究機関が少ないため、研究成果も少ないのが現状である。今後、研究成果を実用面で活用することを考えると、サイレージの品質や栄養価を評価するには、中小家畜による採食試験と消化試験、さらに乳牛による泌乳試験を継続的に実施し、それぞれの試験により得られた結果を総合的に判断するシステムが必要である。

このような観点から、現在、日本学術振興会の助成を受けて帯広畜産大学の岡本明治・花田正明氏とプロジェクト研究を3年間（1999～2001年）実施している。水分レベルや発酵品質の異なるサイレージを調製し、サイレージの評価を採食量、栄養価、乳量ならびに乳成分のデータから行えるように研究成果を蓄積したい。